

République Algérienne Démocratique et Populaire

Université Abdelhamid Ibn Badis
Mostaganem
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد بن باديس
مستغانم
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

Kapena Kabeya Gérard

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN BIOLOGIE

Spécialité : Biochimie Appliquée

THÈME

Effet de la fermentation naturelle sur la
qualité microbiologique, biochimique et
nutritionnelle du blé fermenté traditionnel

Soutenu publiquement le .../ 07 /2021

DEVANT LE JURY

Président	M. Bekada Ahmed	Professeur, Université d'Oran
Rapporteur	M. Benakriche Ben Mehel	Professeur, Univ Mosta
Examineur	M. Bekada Djamel Eddine	Maître de Conférences, Univ Mosta

Année Universitaire 2020 - 2021

Dédicace

Avec amour et profond respect je dédie ce précieux travail à :

Mes parents dont, Cornélie Nduw Meta Kabuiz et Joseph Kabeya Tshikala pour leur soutien moral et spirituel à travers les conseils et prières.

A ma tante Alice Mujinga pour toute son implication et ses efforts fournis sans relâche pour moi.

A tous mes frères et toutes mes sœurs pour leur amour et soutien.

Vous avez été toujours là aux moments où j'ai le plus besoin de vous. Que ce travail soit la récompense des sacrifices que vous avez consentis tout au long de ma formation académique ainsi que le fruit de votre soutien infailible.

Remerciements

Que la gloire soit rendue à Dieu seul lui, le maître de temps et des circonstances pour m'avoir accordé sa protection et m'avoir fait grâce du début jusqu'à la concrétisation de ce travail ; celui à qui j'adresse ma profonde gratitude.

Je tiens, tout d'abord, à remercier tous les membres du jury. Je remercie, particulièrement, Monsieur le Professeur BEKADA Ahmed de m'avoir fait l'honneur de présider le jury. Je suis également reconnaissant envers les Professeurs ; Monsieur BEKADA Djamel Eddine et Monsieur BENAKRICHE Ben Mehel d'avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.

Je tiens à remercier plus particulièrement Monsieur le Professeur BENAKRICHE Ben Mehel, d'avoir été le directeur de ce mémoire. Je le remercie pour la confiance qu'il m'a accordée pendant la réalisation de ce travail, pour son encadrement scientifique, sa disponibilité et ses encouragements.

Merci à ma famille, immédiate et lointaine, pour son soutien indéfectible et ses prières incessantes tout au long de mon travail.

Je tiens à remercier aussi tous ceux qui ont cru en ce projet et qui m'ont donné la chance de mener à bien ce que je considère comme un challenge personnel.

Merci infiniment à ceux qui m'ont formé, guidé et corrigé dans ma démarche scientifique et sans lesquels l'écriture de ce mémoire n'aurait pas été possible.

Par ailleurs, sans les suggestions, les encouragements, le soutien et l'amitié de beaucoup de ceux et celles que j'ai côtoyés durant mes travaux de recherches, je ne serais pas allé jusqu'au bout de mon mémoire. Qu'ils trouvent tous ici l'expression de ma profonde gratitude. Je ne pourrais pas tous les remercier convenablement, mais que chacun sache combien je lui suis redevable.

Vous qui vous reconnaitrez dans ces quelques lignes, vous avez toute ma reconnaissance et j'espère pouvoir vous rendre un jour ce que vous m'avez si généreusement donné.

Résumé

Les céréales sont à la base de l'alimentation humaine. Les grains de blé fermentés renferment des substances biologiques actives qui leur confèrent un grand intérêt en terme de phytothérapie. L'objectif de ce travail est de démontrer par une étude bibliographique approfondie des analyses physico-chimiques, microbiologiques, et phytochimiques les plus poussées avec des techniques plus performantes l'effet de la fermentation naturelle sur la qualité microbiologique, biochimique et nutritionnelle du blé fermenté traditionnel.

Parmi les informations capitales trouvées issues de l'étude bibliographique :

Le blé est une source pratique des glucides, protéines, acides aminés essentiels, des minéraux, vitamines et des fibres alimentaires dont la production se fait par une seule récolte dans l'année, alors que la période de consommation est prolongée tout au long de l'année ; D'où la nécessité de stockage soit, par les méthodes modernes (silos métalliques, silos en béton armé), soit par des méthodes traditionnelles (greniers, Matmora...).

Les grains de blé peuvent subir différentes altérations provoquées par des agents d'origines diverses et que ces altérations peuvent être de types mécaniques, biologiques, biochimiques, enzymatiques et microbiologiques.

La fermentation des céréales conduit à une amélioration générale de la durée de conservation, elle ajoute de nouvelles fonctionnalités, organoleptiques, nutritionnelles, et thérapeutiques aux aliments. Et La production d'acides organiques au cours de la fermentation entraîne une réduction importante du pH, qui associée à la formation de composés antimicrobiens détermine la stabilité microbienne des produits ainsi que la motilité des bactéries pathogènes et d'autres microorganismes nuisibles.

En Algérie, le blé fermenté traditionnel appelé « Hamoum », une denrée alimentaire ancestrale consommé sous forme de couscous et obtenu après une fermentation naturelle dans un grenier souterrain appelé Matmora riche en microflore bénéfique levures, bactéries lactique, entérobactéries, et bactéries sporulantes (Les *Bacillus*) ayant des vertus thérapeutiques, immunologiques et nutritionnels.

Mots Clés : Blé fermenté type Hamoum ; Terroir ; qualité nutritionnelle.

Abstract

Cereals are the basis of human nutrition. Fermented wheat grains contain active biological substances which give them great interest in terms of herbal medicine. The objective of this work is to demonstrate by an in-depth bibliographical study of the most advanced physico-chemical, microbiological and phytochemical analyzes with more efficient techniques the effect of natural fermentation on the microbiological, biochemical and nutritional quality of fermented traditional wheat.

Among the key information found from the bibliographic study:

Wheat is a convenient source of carbohydrates, proteins, essential amino acids, minerals, vitamins and dietary fiber produced by a single harvest in the year, while the consumption period is extended throughout the year. Hence the need for storage either by modern methods (metal silos, reinforced concrete silos) or by traditional methods (granaries, Matmora, etc.).

Wheat grains can undergo various alterations caused by agents of various origins and that these alterations can be of mechanical, biological, biochemical, enzymatic and microbiological types.

Fermentation of cereals leads to a general improvement in shelf life, it adds new organoleptic, nutritional and therapeutic functionalities to foods. And The production of organic acids during fermentation leads to a significant reduction in pH, which together with the formation of antimicrobial compounds determines the microbial stability of products as well as the motility of pathogenic bacteria and other harmful microorganisms.

In Algeria, the traditional fermented wheat called "Hamoum", an ancestral foodstuff consumed in the form of couscous and obtained after a natural fermentation in an underground granary called Matmora, rich in beneficial microflora yeasts, lactic acid bacteria, enterobacteria, and sporulating bacteria (*Bacillus*) have therapeutic, immunological and nutritional virtues.

Keywords : Hamoum-type fermented wheat; Terroir; nutritional quality

ESPGHAN : European Society for Pediatric Gastroenterology Hepatology

FAV : fibres alimentaires végétales

NASPGHAN : North American Society for Pediatric gastroenterology hepatology

TFI : Troubles fonctionnels gastro-intestinaux

WAO : World Allergy Organization

WGO : World Gastroenterology Organization

Figure 01 : La composition histologique d'un grain de blé (Abecassis, 2015).....	9
Figure 02 : La structure biochimique de la molécule du cellulose (Dereuder, 2015).	12
Figure 03 La structure biochimique de deux chaînes d'amidon; A: amylose et B: amylopétine (Heinze, 2017).....	12
Figure 04 : La structure biochimique de la gliadine (2018).....	13
Figure 05 : La structure biochimique de la gluténine (2018).	14
Figure 06 : A: image de l'emplacement des Matmora vu de loin,	21
Figure 07 : les greniers traditionnels (König, 2016).....	22
Figure 08 : image montrant l'intérieure d'un silo métallique (Hatice, 2016).	24
Figure 09 : les charançons du blé (https://www.alamyimages.fr).....	29
Figure 10 : image d'un rat domestique "Rattus rattus" sur un sac de céréales au stockage (Christiane, 2017).....	30
Figure 11 : diagramme microscopique d'Aspergillus-flavus (Ogunleye, et al., 2015).	32
Figure 12 : image descriptive de Penicillium-terverticille (Ogunleye, et al., 2015).	33
Figure 13 : Les caractères morphologiques primaires de deux espèces de Fusarium (Sophie, 2015).	34

Tableau 01 : Composition biochimique d'un grain de blé (Benakriche, et al., 2016).	11
Tableau 02 : Les différentes enzymes de blé (Berkache, et al., 2018).....	16
Tableau 03 : Valeurs nutritionnelles et caloriques du blé : Pour 100 g de blé dur précuit, grains entiers, cuit, non salé (Conan, 2021).....	41
Tableau 04 : Effets des probiotiques chez l'enfant (Szajewska, 2016).	47

Sommaire

Liste des abréviations

Listes des figures

Listes des tableaux

Introduction générale

Synthèse bibliographique

Chapitre 1 - Le blé dur (<i>triticum durum</i>)	5
1,1 Généralité sur le blé dur	6
1,2 Description et origine	6
1,2,1 Description	6
1,2,2 Origine	8
1,3 Composition histologique et biochimique	9
1,3,1 Composition histologique	9
1,3,2 Composition biochimique du blé	10
1,3,3 Les substances principales du blé	11
1,3,3,1 Les glucides	11
1,3,3,2 Les Protéines	12
1,3,3,2,1 Les gliadines	13
1,3,3,2,2 Les gluténines	14
1,3,3,3 Les Lipides	14

1,3,4	Les substances secondaires	15
1,3,4,1	Les fibres (Glucides non assimilables)	15
1,3,4,2	Les minéraux	15
1,3,4,3	Les enzymes	16
1,3,4,4	Les vitamines	17
1,3,4,5	L'eau	17
1,4	Utilisation culinaire	17
Chapitre 2 - Méthodes de stockage du blé dur (T. Durum)		19
2,1	Le stockage traditionnel du blé	20
2,2	Le stockage traditionnel de blé dur en Algérie	20
2,3	Le stockage dans les greniers	21
2,4	Le stockage en gerbes	22
2,5	Le stockage moderne	22
2,6	Le stockage en vrac	23
2,7	Le stockage en silos	23
Chapitre 3 - Les facteurs d'altération du blé		25
3,1	Facteurs d'altération du blé au cours de stockage	26
3,2	Les facteurs d'altération mécanique et physiques	26
3,2,1	La durée d'entreposage	26
3,2,2	La température	26
3,2,3	Humidité	27
3,3	Facteurs d'altération chimiques	27

3,4	Les facteurs d'altération biologiques.....	28
3,4,1	Altération par les insectes.....	28
3,4,2	Altération par les rongeurs.....	29
3,5	Altération microbiologique.....	30
3,5,1	Les bactéries.....	30
3,5,2	Les moisissures.....	31
3,5,2,1	Le genre Aspergillus.....	31
3,5,2,2	Le genre Penicillium.....	32
3,5,2,3	Le genre Fusarium.....	33
Chapitre 4 - Modification biochimique du blé par la fermentation.....		35
4,1	La fermentation des céréales.....	36
4,2	Impacte de la fermentation sur les caractéristiques biochimiques du blé.....	37
4,3	Action sur les principales substances.....	37
4,3,1	Dégradation des glucides.....	37
4,3,2	Dégradation des protéines.....	38
4,3,3	Dégradation des lipides.....	38
Chapitre 5 - La qualité nutritionnelle du blé normal et du blé fermenté.....		40
5,1	Qualité microbiologique du blé normal.....	43
5,2	Qualité microbiologique du blé dur fermenté "Hamoum".....	43
5,3	Les effets nutritionnels du blé normal sur le tractus gastro-intestinal chez les mammifères.....	44

5,4	Les effets nutritionnels du blé fermenté sur le microbiote colique	45
5,5	Impact des prébiotiques sur le microbiote intestinal de l'enfant	46
5,6	Impact des probiotiques sur le microbiote intestinal de l'enfant	46
5,7	Impact des postbiotiques sur le microbiote intestinal de l'enfant.....	48

Conclusion

Références bibliographiques

Introduction

Etant hétérotrophe, pour assurer sa survie et son bon fonctionnement l'homme doit se procurer de l'énergie. N'étant pas à mesure de synthétiser sa propre énergie, il est appelé à se désâmer pour s'en procurer par la consommation de celle déjà synthétisée puis stockée par les autres êtres vivants (autotrophes) ayant cette capacité ; sous forme des fruits, des légumes, des grains des tubercules etc... **(Decrouy, 2018)**.

Plusieurs recherches qui ont été mené au cours de ces dernières décennies, ont mis à preuve le bien-fondé des vertus non seulement thérapeutiques mais notamment nutritionnels de la majorité des aliments, utilisés de manière pragmatique depuis des millénaires. La transmission de cette connaissance accoutumée de génération en génération est devenue actuellement un arsenal d'information extrêmement précieuses pour tous les chercheurs.

Les céréales sont à la base de l'alimentation humaine, car elles peuvent nous apporter des phyto-nutriments important pour la santé humaine. Parmi ces céréales, le blé est l'une des céréales les plus consommées dans le monde et il demeure un aliment indispensable à l'équilibre alimentaire **(Conan, 2021)**.

Dans la plupart des cas, la production des céréales est assurée par une seule récolte dans l'année alors que la période de consommation est prolongée tout au long de l'année, d'où la nécessité du stockage. Des céréales sont des produits stockés à long terme et présentent une facilité pendant leur transport ; De nos jours, on utilise les silos métalliques ou à béton armé et la conservation en vrac pour leur stockage. Par contre, les paysans dans les zones rurales conservent le blé dans des silos souterrains appelés "Matmora " **(Benakriche, et al., 2016)**. En raison de l'infiltration accidentelle des eaux de pluie dans le "Matmora", les grains de blé humidifiés ou inondés subissent une fermentation spontanée à la périphérie et à la profondeur du silo, qui dépend également

de la nature du sol. L'humidité, la température incontrôlées et l'absence d'air dans le Matmora provoquent une fermentation microbienne qui peut durer plusieurs années **(Kalbaza, et al., 2018)**.

La fermentation des céréales conduit à une amélioration générale de la durée de conservation, de la texture, du goût et de l'arôme, de la valeur nutritive, de la biodisponibilité des nutriments, de la teneur en enzymes, ainsi que la qualité microbiologique et la digestibilité ; Et par surcroît elle abaisse significativement la teneur en anti-nutriments des produits céréaliers **(Berkache, et al., 2018)**.

De nos jours, moindre sont les informations scientifiques sur l'influence de la fermentation conçue traditionnellement sur les différents paramètres biochimiques et valeurs nutritives des aliments et en particulier du blé dur. A cet effet, notre travail consiste à démontrer l'effet de la fermentation naturelle sur la qualité microbiologique, biochimique et nutritionnelle du blé fermenté traditionnel.

Pour se faire, notre travail commence par une introduction générale qui va éclaircir la problématique et l'objectif de notre travail et par la suite il est orienté vers :

Une étude générale sur le blé dur, quelques méthodes de stockage, les facteurs influençant l'altération du blé pendant le stockage et comment il est biochimiquement modifié par la fermentation, l'étude des qualités nutritionnelles du blé normal et fermenté et en fin les impacts des quelques probiotiques et prébiotiques trouvés dans le blé fermenté sur le microbiote colique de mammifères et chez l'enfant.

Enfin, le manuscrit est achevé par une conclusion générale et les perspectives envisagées

Synthèse
bibliographique

Chapitre 1 -
Le blé dur
(triticum durum)

1,1 Généralité sur le blé dur

Le blé est une matière première stratégique qui joue depuis l'origine des civilisations antiques un rôle central pour le développement des sociétés et l'organisation des relations de pouvoir. Moins médiatisé que le pétrole, le blé est pourtant partout dans le quotidien des consommateurs **(Abis, 2015)**.

En effet, le blé, le maïs, et le riz sont les trois céréales les plus produites et cultivées. Du point de vue quantité, le blé est une céréale cultivée avec plus de 600 millions de tonnes par an dont les deux principales espèces actuellement cultivées sont le blé commun ou blé tendre, riche en amidon, cultivé un peu partout dans les régions tempérées et le blé dur, riche en amidon et en gluten, cultivé dans des zones plus chaudes et plus sèches **(Mazhoud, et al., 2020)**.

Le blé, constitue une des céréales les plus cultivées dans le monde. C'est une source importante de protéine pour l'alimentation humaine. En Algérie, les produits céréaliers, dont le blé, occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. Cependant, la conservation post-récolte est le seul moyen d'assurer le lien entre la récolte intervenant une fois dans l'année et la consommation qui est permanente et obligatoire **(Aoues, et al., 2017)**.

1,2 Description et origine

1,2,1 Description

Le blé, l'une des nombreuses espèces de graminées céréalières du genre *Triticum* (famille des *Poaceae*) et leurs grains comestibles. Le blé est l'une des cultures céréalières les plus anciennes et les plus importantes. Parmi les milliers de variétés connues, les plus importantes sont le blé tendre (*T. aestivum*), le blé dur (*T. durum*), et le blé club (*T. compactum*) **(Encyclopaedia, 2021)**.

La taille de la plante peut varier de 0,6 à 1,2 m de hauteur, selon le degré d'humidité, la fertilité du sol et le temps d'ensoleillement. Le blé produit un fruit sec indéhiscent dont les épis sont très compacts, le caryopse de forme ovale plus ou moins bombé, il est orné d'un profond sillon longitudinal. L'extrémité supérieure porte une barbe (de petits poils longs et colorés) et l'extrémité inférieure, un germe minuscule, l'embryon (**Berkache, et al., 2018**).

Selon (**Foudili, et al., 2017**), L'appareil végétatif comprend l'appareil aérien, l'appareil racinaire et l'appareil reproducteur tel que :

L'appareil aérien : Le système aérien de la plante est formé d'un certain nombre d'unités biologiques dont le tige, les feuilles et les graines. Le tige est formé d'une tige feuillée ou chaume portant à son extrémité une inflorescence. Les feuilles se composent d'une base (gaine) entourant la tige, d'une partie terminale qui s'aligne avec les nervures parallèles et d'une extrémité pointue. Au point d'attache de la gaine de la feuille se trouve une membrane mince et transparente (ligule) comportant deux petits appendices latéraux, les oreillettes.

L'appareil racinaire : Le système racinaire comprend des racines séminales produites par la plantule durant la levée, ainsi que des racines adventives (latérales) qui se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante et constituent le système racinaire permanent.

L'appareil reproducteur : L'inflorescence du blé est un épi. Ce dernier est constitué d'unités de base, les épillets. L'épillet est une petite grappe de, un à cinq fleurs enveloppées chacune par deux glumelles (inférieure et extérieure). La grappe est incluse entre deux bractées ou glumes. Les fleurs sont attachées sur le rachis et sont autogames.

1,2,2 Origine

La domestication du blé, il y a 10 000 ans, faisait partie de la « révolution néolithique ». La première forme cultivée était le petit épeautre (*Triticum monococcum*), avec un nombre diploïde de chromosomes dans le Croissant fertile et l'Emme tétraploïde (*Triticum dicoccum*) au Proche-Orient. Grâce aux processus d'hybridation naturelle et de sélection anthropique, le blé, avec des caractéristiques favorables - récolte facile, diminution de la dispersion des graines et du rendement, de nouvelles formes de blé se sont développées ; blé tétraploïde (AABB) (*Triticum turgidum subsp. Durum*) avec quatre jeux de chromosomes (28 chromosomes) au Proche-Orient et blé tendre hexaploïde (AABBDD) (*Triticum aestivum*) avec 42 chromosomes en Asie occidentale. L'origine du génome A est *Triticum urartu*, la source du génome D est *Triticum tauschii*, tandis que l'origine du génome B n'a pas été déterminée avec certitude, et l'une des hypothèses est qu'il provient d'*Aegilops speltoides* (Yuka, et al., 2019).

Depuis les centres d'origine, le blé a atteint la Grèce 8000 avant JC, les Balkans, l'Italie, la France et l'Espagne 7000 avant JC, le Royaume-Uni et la Scandinavie vers 5000 avant JC, la Chine 3000 avant JC, le Mexique en 1529 et en Australie en 1788. Les premières formes cultivées de blé ont été sélectionnées par les agriculteurs à partir de la population sauvage. Au cours des siècles suivants, la production de blé s'est concentrée sur des variétés adaptées localement et d'une grande diversité génétique, produites à partir de graines stockées au fil des générations (Velimirovic, et al., 2021).

1,3 Composition histologique et biochimique

1,3,1 Composition histologique

Un grain de blé contient trois tissus principaux (l'enveloppe, l'amande farineuse et le germe) (**Abecassis, 2015**) :

L'enveloppe (L'écorce) : Elle représente environ 17% du poids du grain. Contient des quantités importantes de fibre non cellulosique (32,7%) et de cellulose (8%). Elle est riche, en protéines, vitamine et en minéraux. Elle est constituée de plusieurs couches (**Heinze, 2017**) :

- Le péricarpe : c'est une enveloppe avec des cellules dont la membrane est épaisse et dont l'utilisation digestive est médiocre (car elle contient de la cellulose et de la lignine).

- Tégument séminal (testa) : il contient les colorants du grain qui lui donnent sa couleur jaune marron.

- L'assise protéique ou couche à aleurone qui est riche en protéines, vitamines, minéraux, lipides, cellulose et lignine.

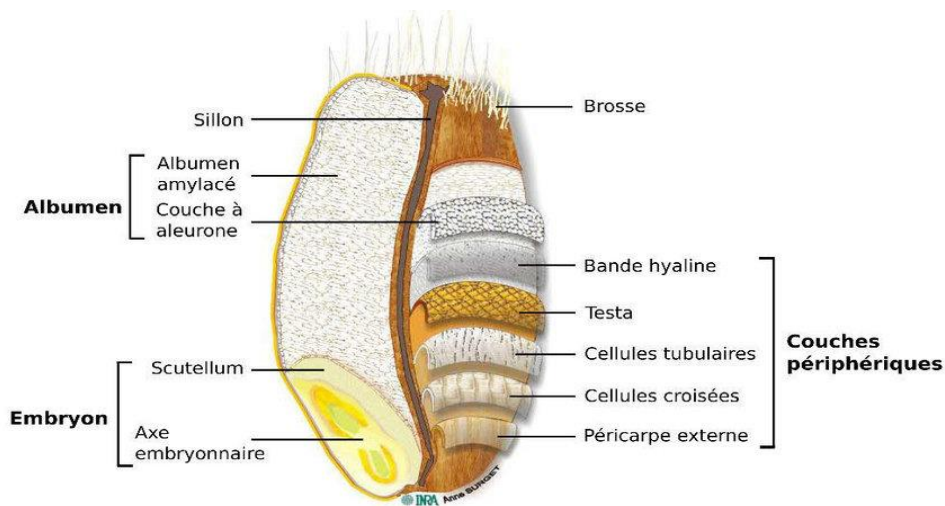


Figure 01 : La composition histologique d'un grain de blé (**Abecassis, 2015**).

L'albumen (amande ou endosperme) : Il constitue un organe de réserve, riche en protéines et en lipides pour la jeune plantule et forme environ 2, à 3% grain de blé (**Heinze, 2017**). Le germe comprend deux parties : la plantule (future plante) et le cotylédon (réserve de nourriture très facilement assimilable, destinée à la plantule) qui contient l'essentiel des matières grasses du grain. Enfin, le germe est riche en vitamines B1, B6 (**Zeddig, et al., 2017**).

Le germe (Embryon 3 %) : Composé d'un embryon et du scutellum, il est situé dans la partie inférieure du grain, c'est le germe de vie. Il est riche en protéines (25%) et en lipides (8-13%). Le germe de blé est disponible en tant qu'entité distincte car c'est une source importante de vitamine E, il ne contient que la moitié de la glutamine et de la proline de la farine (**Samad, et al., 2021**).

1,3,2 Composition biochimique du blé

Le blé est largement utilisé pour multiple raisons et en diverses formes car c'est une source pratique des glucides, protéines, acides aminés essentiels, des minéraux, vitamines et des fibres alimentaires dont, parmi les constituants, l'amidon est le constituant majeur (environ 70%) ; les protéines occupent environ (10 à 15%) ainsi les autres constituants, pondéralement mineurs (en quelques % seulement), sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (**Dhillon, et al., 2020**).

Tableau 01 : Composition biochimique d'un grain de blé (Benakriche, et al., 2016).

	Eau (%)	Glucides totaux (%)	Matière protéique (%)	Matière grasse (%)	Matière minérale(%)
Blé entier	13	68-72	10	1 5-2	1 7-2 1
Enveloppe	13	65-68	17-19	4-5	6-7
Amande farineuse	13	74-76	9-12	0 7-1	0 4-0 5
Germe	13	37-43	22-32	15-18	4-5

1,3,3 Les substances principales du blé

1,3,3,1 Les glucides

Les glucides ou sucres se présentent sous la forme de quelques sucres simples, mais surtout de composés plus ou moins complexes de ces mêmes sucres simples tels que le glucose et le pentose (Dhillon, et al., 2020). Le plus important est l'amidon (polymères des glucoses) qui est la substance énergétique par excellence, facilement digestible. C'est le constituant majeur des céréales : environ 70 % du poids pour le blé et 70 à 73 % pour le maïs. La cellulose (un polymère monotone uniquement constitué des cellobioses : deux glucoses liés en bêta 1-4 ; fig. 02), qui est un glucide qui entre dans la composition du péricarpe est un glucide complexe, difficilement digestible par les monogastriques (Laskowski, et al., 2019).

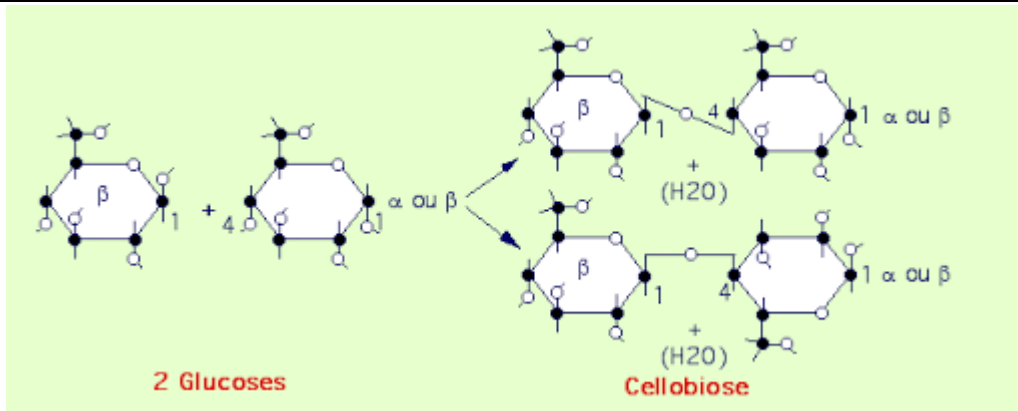


Figure 02 : La structure biochimique de la molécule du cellulose (Dereuder, 2015).

L'amidon de blé est constitué de deux fractions principales, l'amylose et l'amylopectine, qui représentent respectivement environ 25 et 75% de la masse totale de l'amidon. L'amylose est un polymère essentiellement linéaire d' α -D glucose 1-4 lié (fig. 03). L'amylopectine est beaucoup plus grande et plus branchée, avec des molécules individuelles qui composent des dizaines de milliers de glucose (Heinze, 2017).

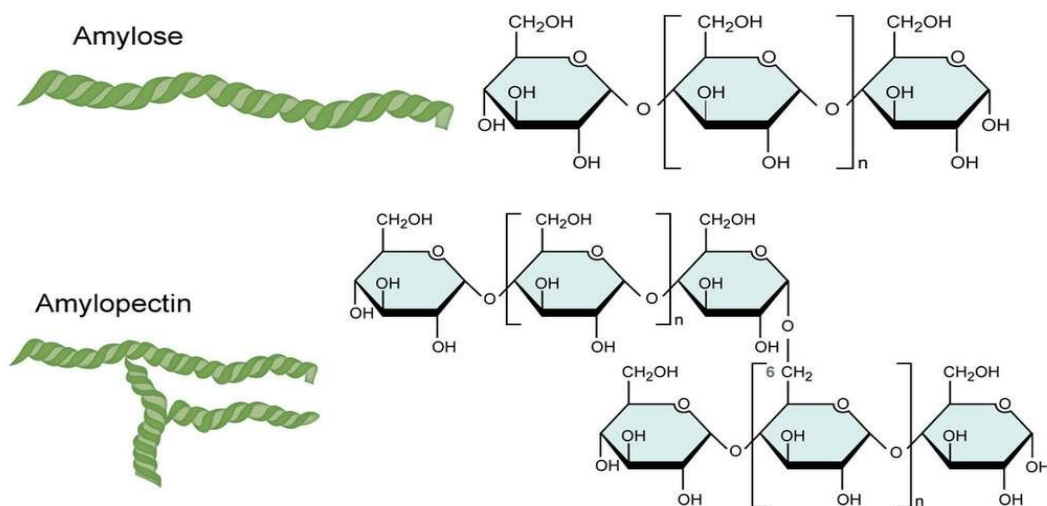


Figure 03 La structure biochimique de deux chaînes d'amidon; A: amylose et B: amylopectine (Heinze, 2017).

1,3,3,2 Les Protéines

Les protéines sont le deuxième élément en importance, le grain de blé contient entre 10 et 15% des protéines selon la variété, les protéines du blé sont divisées en deux

types : les protéines de structure (albumines et globulines) et de fonction ou de réserve (gliadines et gluténines réunies sous l'appellation prolamines ; environ 20% des protéines totales) (**Uthayakumaran, et al., 2017**). Elles appartiennent à quatre classes différentes : albumines, globulines, prolamines (gliadines) et les glutélines (gluténines). Les gliadines (40 à 45%) et les gluténines (55 à 60%) forment au contact de l'eau le gluten, une protéine qui donne élasticité et fermeté à la pâte (2015).

1,3,3,2,1 Les gliadines

Les gliadines sont des protéines monomériques associées par des liaisons hydrogène et des interactions hydrophobes. Elles se répartissent en 2 groupes :

□ Les gliadines ω (40 à 80 kDa) caractérisées par la présence d'une grande proportion de glutamine, de proline et des résidus de phénylalanine mais peu ou pas d'acides aminés soufrés : ce sont les prolamines pauvres en soufre.

□ Les gliadines α , β et γ (30 à 40 kDa), qui, au contraire, comportent beaucoup de composés soufrés : cystéine et méthionine (2 à 3 % mol). Elles appartiennent ainsi au groupe des prolamines riches en soufre (**Gregová, et al., 2021**).

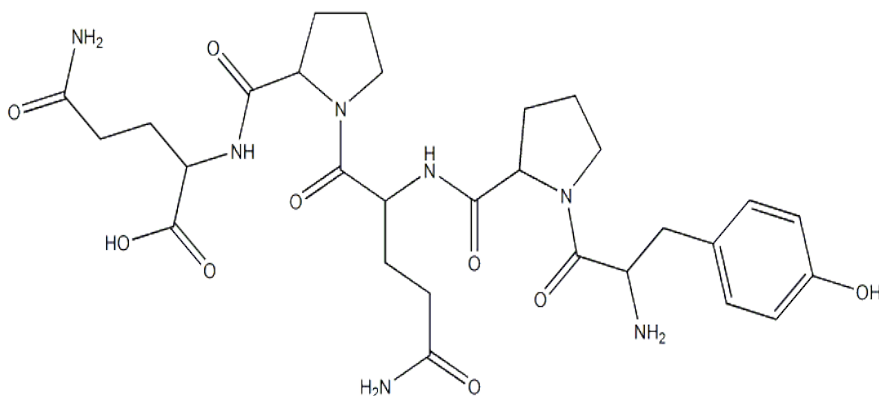


Figure 04 : La structure biochimique de la gliadine (2018).

1,3,3,2,2 Les gluténines

Selon (**Mattioni, 2017**), les gluténines sont des agrégats de monomères de haut poids moléculaire liés par des liaisons hydrogène, des interactions hydrophobes et des ponts disulfures intermoléculaires. On distingue deux types de monomères de Gluténines. Les gluténines de faible poids moléculaire qui ont des compositions en aminoacides similaires au groupe des α , β et γ gliadines, ce qui justifie leur appartenance au groupe des prolamines riches en soufre, mais avec un poids moléculaire plus important (> 40 kDa). Les gluténines de haut poids moléculaire qui se distinguent par une concentration importante en glycine et faible en proline. Elles atteignent des poids moléculaires supérieurs à 100 kDa et forment le groupe des prolamines de haut poids moléculaire.

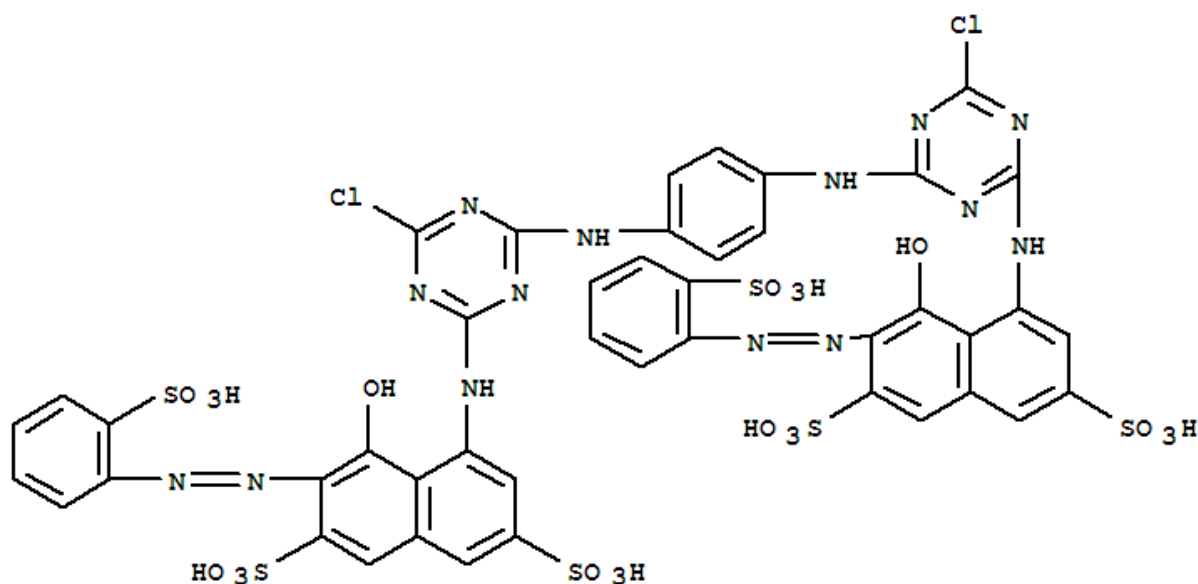


Figure 05: La structure biochimique de la gluténine (2018).

1,3,3,3 Les Lipides

Les composés lipidiques de grain de blé sont répartis inégalement dans les différentes parties de grain. Le tiers de la fraction lipidique total est situé dans le germe. Plus de 20 classes de lipides existent dans le grain de blé et peuvent être divisées en deux

groupes, les lipides polaires et non polaires. Les triglycérides sont les principaux lipides non polaires qui représentent la majeure partie des lipides liés. Les glycolipides et les phospholipides constituent l'essentiel des lipides libres et qui représentent la plus grande part des lipides polaires d'albumen amylicé (82%). Les restes sont principalement des monos et des diglycérides, des esters, de stérols et des acides gras libres (**Sanaa, et al., 2015**)

1,3,4 Les substances secondaires

1,3,4,1 Les fibres (Glucides non assimilables)

Le grain de blé contient 9,5% des fibres alimentaires végétales (FAV), elles se trouvent principalement dans l'enveloppe. Ces fibres sont divisées en deux types : les fibres insolubles trouvées en grande quantité dans l'enveloppe (composées de lignine, cellulose et hémicellulose) et les fibres solubles (visqueuses) qui ont la propriété de diminuer les taux de glucose sanguin et de cholestérol. D'où l'intérêt diététique des pains complets, du son et des pains dans la régulation du transit intestinal ainsi que dans la prévention du cancer du côlon (**Prasadi, et al., 2020**).

1,3,4,2 Les minéraux

Le grain de blé comprend également des matières minérales en faible proportion et inégalement réparties (**Conan, 2021**). Ainsi 80% des cendres se trouvent dans les enveloppes contre 20% dans l'amande. Le potassium, le phosphore, le calcium et le magnésium possèdent les teneurs les plus élevées parmi les matières minérales contenues dans le blé. Le soufre a une certaine importance du fait qu'il entre dans la composition de certains acides aminés comme la méthionine et la cystéine (**Wioletta, et al., 2020**).

1,3,4,3 Les enzymes

Ce sont aussi des substances complexes présentes en quantité négligeable, mais dont le rôle est très important : ils sont responsables des transformations que subissent les autres substances (hydrolyse de l'amidon et des protéines, destruction des sucres simples et des acides aminés). Les enzymes dans le blé sont d'une certaine importance pour la performance de la farine dans la fabrication du pain, en particulier les amylases (Rani, et al., 2021).

Tableau 02 : Les différentes enzymes de blé (Berkache, et al., 2018).

Enzyme	Localisation	Réaction catalysée	Fonction
α amylase (endo-enzyme)	Son	Hydrolyse les liaisons glycosidiques α-(1-4)	Liquéfaction de l'amidon gélatinisé
B amylase (exo-enzyme)	Son	Hydrolyse les liaisons glycosidiques α-(1-4)	Saccharification
Pentosanes	Albumen	Hydrolyse les pentosanes solubles et insolubles	Modification de la capacité d'absorption d'eau des pâtes
Lipases	Couche à aleurone	Hydrolyse les triglycides	Libération d'AG et augmentation de l'acidité grasse des farines
Lipoxygénase	Germe	Oxyde les AG libres et dégrade les caroténoïdes	Le blanchiment de la mie et la formation de composés volatiles
Protéases	Couche à aleurone	Hydrolyse la liaison peptidique	Affaiblissement du réseau protéique par interaction avec les pentosanes.
Polyphénoloxydases	Son	Oxydation des phénols	Affaiblissement du réseau protéique par interaction avec les pentosanes.

1,3,4,4 Les vitamines

Les céréales sont considérées comme de bonnes sources de la plupart des vitamines de la famille B (sauf B12) et de vitamine E. Les vitamines B (B1, B2, B3, B6, B9) sont essentiellement des vitamines hydrosolubles et qui sont inégalement réparties dans le grain. La vitamine E est la seule vitamine liposoluble dans le grain de blé avec 2 5mg/g. Elle se trouve essentiellement dans le germe car c'est à cet endroit que l'on trouve le plus de lipides **(Korti, et al., 2018)**.

1,3,4,5 L'eau

Les grains de blé sont naturellement peu hydratés leur teneur en eau varie avec le taux d'humidité de l'aire. L'équilibre se situe entre 13 et 15%. Du point de vue chimique et physique, son action de solvant favorise les réactions enzymatiques et les attaques microbiennes lorsque sa teneur dépasse le seuil d'équilibre dans le grain **(Benakriche, et al., 2016)**.

1,4 Utilisation culinaire

La consommation des grains frais s'est étendue récemment partout dans le monde, dû à leurs avantages dans la santé, grâce à des pourcentages remarquables des protéines, minéraux et les vitamines qu'ils ont **(Peles, et al., 2021)**. Le blé dur est majoritairement utilisé pour l'alimentation humaine et animale. Dans l'alimentation humaine, le blé dur est destiné à la biscuiterie, la fabrication de semoule, de couscous, boulgour ou de pâtes. Le blé tendre quant à lui est utilisé principalement en meunerie pour obtenir de la farine nécessaire à la production de pain et de pâtisseries **(Conan, 2021)**.

Grace à son pourcentage élevé en amidon, le blé est aussi utilisé pour la fabrication de l'alcool ; les restes des constituants des grains (appelés grains distillés) seront ensuite utilisés pour l'alimentation animale en permettant la valorisation de sous-produits tels

que le son et remoulages consommé sous formes de poudre ou de granules (**Yang, et al., 2017**)

Chapitre 2 -
Méthodes de stockage
du blé dur (T. Durum)

Dans la plupart des cas, la production des céréales est assurée par une seule récolte dans l'année, alors que la période de consommation est prolongée tout au long de l'année, d'où la nécessité de stockage **(Nour, et al., 2016)**. Le stockage des grains est une opération complexe qui demande la prise en compte de multiples paramètres (température, humidité, etc.) lors des différentes étapes, entre la récolte et l'expédition. Les premiers systèmes de stockage étaient de grands paniers faits de roseaux ou fioles d'argiles qui sont enfoncées dans le sol, ainsi que des puits, des structures de bois et des puits garnis de paille **(Rofia, et al., 2018)**.

2,1 Le stockage traditionnel du blé

L'utilisation des entrepôts souterrains pour le stockage des grains est une pratique traditionnelle, très ancienne qui nécessite des matériaux peu coûteux pour la construction et protège le grain stocké contre les fluctuations de la température extérieure. Le stockage souterrain est particulièrement utilisé pour son herméticité, qui permet dans certaines mesures, le contrôle des insectes grâce à la réduction du niveau d'oxygène dans l'entrepôt **(Roux, 2015)**.

Plusieurs facteurs entrent en interaction pour déterminer l'état de conservation des grains stockés. Les principaux facteurs sont l'humidité du grain, sa température et la composition des gaz dans l'entrepôt. Un bon entreposage consistera donc à maintenir un ou plusieurs de ces facteurs à un niveau qui empêche ou tout au moins ralentit le processus de détérioration de la matière stockée **(Berkache, et al., 2018)**.

2,2 Le stockage traditionnel de blé dur en Algérie

L'homme fait des efforts pour améliorer les conditions de stockage depuis, Matmora jusqu'aux silos modernes. Le stockage du blé dans le Matmora est une technique archaïque peut être encore utilisée dans certaines régions isolées. Elle est assez rependue en Algérie ; le paysan algérien, sur des hauts plateaux, conservait le produit de

ses champs de blé, dans des enceintes creusées dans un sol argileux sous forme sphérique tronconique, généralement à un endroit surélevé ou proche de la ferme. C'est ce qu'on appelle « el Matmora » (fig. 06). La capacité de ces lieux de stockage est variable et l'inconvénient majeur de la méthode est la très forte humidité et les eaux d'infiltration qui favorisent le développement des microorganismes et le phénomène de fermentation bactérienne (Benakriche, et al., 2016).



*Figure 06: A: image de l'emplacement des Matmora vu de loin,
B : image de l'emplacement vu de près,
C : image d'un Matmora non-ouvert,
(D, E) : l'ouverture du Matmora et
F : image d'un Matmora déjà bien ouvert (Kheroua, et al., 2016).*

2,3 Le stockage dans les greniers

Les greniers traditionnels en tige de bambou où les grains sont conservés en épis ou en vrac (fig. 07). Ils sont généralement surélevés pour éviter l'attaque des rongeurs. L'infestation par les insectes est fréquente. Ces greniers ont généralement une forme cylindrique avec un chapeau au-dessus. On les retrouvait très souvent au milieu des champs. Maintenant ils sont situés soit à côté ou dans les concessions mêmes. Dans tous les cas on peut dire que ces greniers n'assurent pas une bonne protection phytosanitaire (Berkache, et al., 2018).

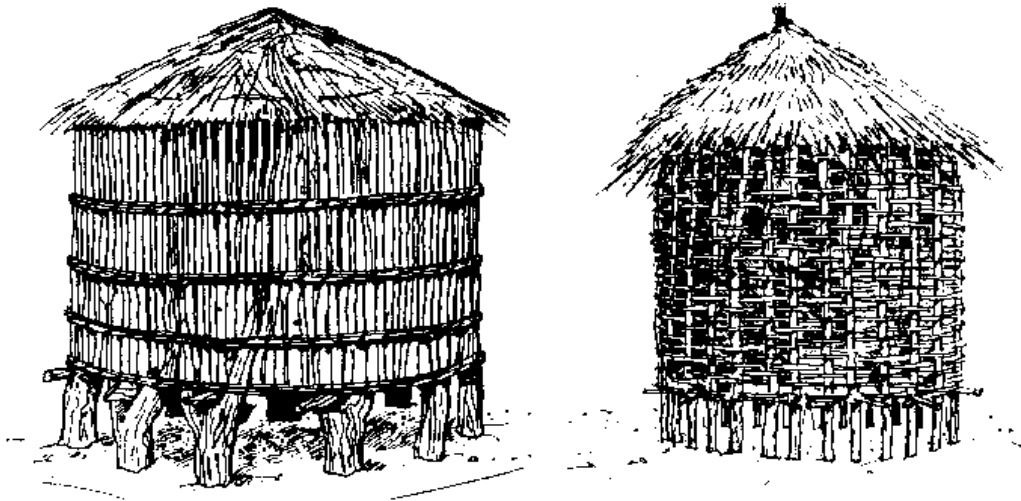


Figure 07: les greniers traditionnels (König, 2016).

2,4 Le stockage en gerbes

Ce type de stockage est mieux encore que celui en épis car le grain est protégé contre l'échauffement et les insectes notamment les charançons. Mais les gerbes exigent davantage de travail à la récolte et au transport. Il a deux principaux avantages, le premier permet de répartir le battage sur tout l'hiver et le second permet une bonne conservation sans séchage artificiel des grains humides (**Roux, 2015**).

2,5 Le stockage moderne

Les technologies de stockage des céréales ont beaucoup avancé avec des innovations sur les principaux systèmes, comme aération, stockage réfrigéré, stockage par modification de l'atmosphère et les systèmes de stockage hermétiques dans des pays développés (**Hatice, 2016**).

Les modalités techniques ont varié avec les époques et lieux ; Les enjeux sont toujours restés les mêmes et l'évolution technique a surtout permis une augmentation des capacités de stockage et une accélération d'échanges. De nos jours, les silos modernes permettent de stocker plusieurs types de céréales en même temps (**Karahacane, 2015**).

2,6 Le stockage en vrac

Cette méthode consiste à conserver les grains, sans aucun emballage, à l'intérieur de structures construites à cet effet (cellules, silos) (**Sudon, 2019**). Dans ce cas, les grains en tas sont laissés à l'air libre dans des hangars ouverts à charpente métallique. Malheureusement les contaminations sont possibles, d'autant plus que dans ce type de construction, il demeure toujours des espaces entre les murs et le toit. Ainsi libre passage des souris, des rats, des moineaux, des tourterelles, des pigeons et des insectes cléthrophages demeure possible. Par ailleurs l'influence des intempéries est encore assez forte et le développement des moisissures et des bactéries est toujours à craindre. Ce moyen de stockage indispensable face à l'insuffisance des installations spécialisées aura tendance à disparaître dans l'avenir (**Rofia, et al., 2018**).

2,7 Le stockage en silos

La technique de stockage la plus préférée dans les plantes consiste à stocker le grain dans des silos. Il présente de nombreux avantages en raison de moins de coût de main-d'œuvre et moins de temps selon la décharge et le transport faciles des céréales et le maintien des conditions d'hygiène pendant ces processus (**Hatice, 2016**).

Comme les silos sont verticaux, plus de produits sont stockés sur la superficie de l'unité ; Il existe trois types de silos en bois, béton et acier (silos métalliques). Les silos à bois ne sont pas adaptés pour la conservation, car ils sont sensibles au feu et favorable à la survie de l'insecte. Les silos en béton sont idéaux pour stocker les céréales, car elles nécessitent moins de main-d'œuvre coût et moins de temps pour le stockage ; Silos en acier (Fig. 08) (**Navarro, et al., 2016**) et les silos galvanisés sont les magasins d'occasion les plus courants, car ils sont plus résistants et plus faciles à contrôler par rapport aux autres. Blé, orge, seigle, l'avoine, etc., pourrait être stocké commodément à la fois dans du béton et silos en acier (silos métalliques) (**Hatice, 2016**).



Figure 08: image montrant l'intérieure d'un silo métallique (Hatice, 2016).

Chapitre 3 -
Les facteurs
d'altération du blé

3,1 Facteurs d'altération du blé au cours de stockage

De la maturation dans le champ et en cours de conservation dans le silo, les grains de blé peuvent subir différentes altérations provoquées par des agents d'origines diverses et amplifiées par trois principaux facteurs : la durée d'entreposage, l'humidité et la température. Les altérations possibles sont de types mécaniques (détérioration de l'enveloppe des grains ou bris des grains), biologiques (infestation par des insectes, rongeurs), biochimiques (brunissement), enzymatiques (dégradation de l'amidon, rancissement des lipides), microbiologiques (moisissures, mycotoxines) **(St-Pierre, et al., 2015)**

3,2 Les facteurs d'altération mécaniques et physiques

Les altérations d'origine mécanique sont dues à des chocs entraînant des cassures et favorisant les autres causes d'altération. L'utilisation des radiations telles que les rayons gamma et les rayons ultra-violet (UV) peuvent provoquer des altérations radiochimiques tels que la pyrolyse, redistribution de l'eau dans le grain et l'adhésion de l'amidon et des constituants protéiques **(Befikadu, 2019)**.

Ces facteurs peuvent être amplifiés par :

3,2,1 La durée d'entreposage

C'est le facteur prépondérant puisqu'il conditionne la durée des dégradations. Plus un grain humide attend avant d'être traité, plus il se dégrade, il convient donc d'agir le plus rapidement possible après la récolte pour mettre ce grain dans de bonnes conditions de stockage **(Rofia, et al., 2018)**.

3,2,2 La température

La température joue un rôle important dans la conservation des grains ; Elle est le facteur le plus important qui affecte la qualité du grain au cours de stockage. Elle

intervient d'une part sur la valeur des grains et d'autre part sur les vitesses de réactions chimiques et enzymatiques et donc la croissance des microorganismes. Au cours de la conservation, plus la température est élevée plus les réactions biologiques des microorganismes sont rapides (**Habbi, et al., 2018**).

3,2,3 Humidité

Appart l'humidité qui peut provenir du milieu de stockage, les grains en-soi contiennent une certaine teneur en humidité de quelques pourcentages. Les deux sources d'humidité combinées peuvent devenir l'un des facteurs de détérioration le plus important et pouvant favoriser le développement des moisissures et parfois des germinations au cours du stockage (**Cuz, et al., 2016**).

3,3 Facteurs d'altération chimiques

Le grain stocké peut être contaminé par des substances chimiques néfastes à la santé humaine et animale. La contamination chimique se résume par la présence de métaux lourds, de résidus de produits phytosanitaires ou de produits de désinfection (**Bettahar, 2016**). Les métaux lourds sont des éléments métalliques naturels dont la masse volumique est supérieure à 5 g/Cm^3 présents naturellement dans l'environnement ou provenant des activités humaines et industrielles. Ces éléments de par leur capacité d'accumulation, se trouvent dans notre alimentation (**Toure, et al., 2016**).

Les pesticides par leur nature même, sont toxiques. Fréquemment, leurs cibles biochimiques sont communes à la fois à l'organisme contre lequel le pesticide est conçu pour agir et à l'organisme humain. Les résidus chimiques présents dans le grain sont la cause de plusieurs problèmes sanitaires, notamment des problèmes neurologiques (**Mahmood, et al., 2016**).

3,4 Les facteurs d'altération biologiques

Les facteurs biologiques contaminants le grain sont nombreux. Nous ne citerons ici que les principaux. Les rongeurs font partie des ravageurs les plus répandus. Dans un certain nombre de pays, ils provoquent autant, sinon plus de dégâts que les insectes nuisibles **(König, 2016)**.

Les pertes réelles provoquées par les rongeurs sont beaucoup plus élevées que le montant des produits consommés par ces animaux, car ils contaminent le blé stocké avec l'urine, les matières fécales, les poils et des agents pathogènes. Comme il est difficile, voire impossible, d'enlever la souillure produite par les rongeurs dans le grain, les lots infestés doivent souvent être signalés impropres à la consommation humaine ou radiés comme pertes totales **(Bettahar, 2016)**.

Il y a environ 50 maladies transmissibles à l'homme par les rongeurs, parmi lesquelles la typhoïde, la paratyphoïde, la trichinose, la gale, la peste et les fièvres hémorragiques comme le virus Ebola **(Jack, 2016)**.

3,4,1 Altération par les insectes

Certains insectes vivent de la consommation du grain. Un grain mal conservé va spontanément se réchauffer, ce qui favorise dans un premier temps, le développement des insectes. C'est le mécanisme de l'infestation : les insectes consomment le grain et provoquent des montées de température, en raison de leurs activités métaboliques, accélérant ce réchauffement **(Doukani, et al., 2015)**.

Selon **(Bettahar, 2016)**, Les plus grands ravageurs parmi les espèces d'insectes, sont les coléoptères, les lépidoptères et les acariens. Ces insectes ravageurs, sont en général classés en deux groupes : le premier groupe, celui des ravageurs primaires, qui englobe les insectes pouvant détériorer le grain sain ; le deuxième groupe, celui des ravageurs secondaires qui ne peuvent atteindre le grain que lorsqu'il est déjà cassé ou

percé, suite à une dégradation due au processus de stockage ou à une attaque des ravageurs primaires, leur ouvrant alors une porte d'accès. D'où Leur présence conjointe avec des moisissures augmente de manière significative la température du grain provoquant des points chauds, stimulant ainsi la détérioration des semences.



Figure 09: les charançons du blé (<https://www.alamyimages.fr>).

3,4,2 Altération par les rongeurs

Les rongeurs (ordre des rodentiens ; végétariens ou omnivores) font partie des principaux ravageurs des céréales et des grains stockés. Ils dégradent les grains, et propagent en plus de nombreuses maladies. Grâce à leur faculté d'adaptation extraordinaire et une reproduction rapide ; les rongeurs causent les dégâts qui dépassent ceux causés par d'autres ravageurs (**König, 2016**).

Les espèces les plus répandues dans le monde sont :

Le rat noir ou rat domestique (*Rattus rattus* ; fig. 10),

Le surmulot (*Rattus norvegicus*) et

La souris domestique (*Mus musculus*).



Figure 10: image d'un rat domestique "Rattus rattus" sur un sac de céréales au stockage (Christiane, 2017).

3,5 Altération microbiologique

Les céréales brutes ne sont pas stériles ; elles portent des microorganismes divers et adaptés appelés germes spécifiques. Ces derniers dans des conditions favorisant leur développement, se transforment en premiers ravageurs des céréales au cours du stockage. Les céréales sont altérées dans plusieurs cas par diverses moisissures, les levures et les bactéries (Amourche, 2016).

3,5,1 Les bactéries

La contamination de blé par les bactéries provient essentiellement des flores du sol, ces bactéries appartiennent à la famille des *Pseudomonadaceae* (*Pseudomonas*), *Xanthomonadaceae* (*Xanthomonas*), *Enterobacteriaceae*, *Lactobacillaceae*, *Bacillaceae*, etc. Les grains ne constituent pas un milieu favorable pour les germes pathogènes ou toxigènes comme *Salmonella*, *Clostridium* ou *Staphylococcus* (Berkache, et al., 2018).

A la récolte, les produits céréaliers sont toujours faiblement contaminés par les *Streptomycetaceae*, microorganismes que l'on connaît surtout pour leur aptitude à produire des antibiotiques, et dont les principaux représentants sur grains semblent être : *Streptomyces albus* (Cuz, et al., 2016).

3,5,2 Les moisissures

Il faut savoir que, le plus souvent, les végétaux sont contaminés par les moisissures lors de la culture, et que la croissance du champignon et la production des toxines se poursuivent après la récolte **(Cuz, et al., 2016)**.

Il existe de nombreuses espèces de moisissures et les spécialistes distinguent généralement entre la parcelle cultivée et le silo, une flore du champ, une flore intermédiaire et une flore de stockage parmi lesquelles les espèces les plus caractéristiques sont les *Aspergillus* sp. et les *Penicillium* sp. **(Belmehdi, et al., 2019)**

Les espèces de moisissures xérotolérantes se développent dès que l'humidité relative de l'air dépasse 65% mais la plupart des espèces préfèrent une humidité supérieure à 85%. Enfin les moisissures sont réputées aérobies mêmes si certaines espèces se contentent de traces d'oxygène et si d'autres résistent à l'anaérobiose. Par leur respiration, elles sont les principales responsables de l'échauffement des stocks de grains insuffisamment séchés **(Meghazi, 2015)**.

La flore de stockage regroupe essentiellement les espèces appartenant aux genres *Aspergillus*, *Penicillium* et *Fusarium* dans laquelle les *Penicillium* et les *Aspergillus* sont dominants.

Les moisissures trouvées dans le blé stocké

3,5,2,1 Le genre *Aspergillus*

Ce genre est souvent associé aux *Penicillium* et se distingue de ce dernier par l'aspect des conidiophores qui sont terminés par une tête renflée. *Aspergillus* signifie « aspersoir » à cause de la forme de ses têtes aspergillaires ; Ce sont des moisissures à filaments cloisonnés hyalins, appartenant à la famille des *Aspergillaceae*, et à la classe des Ascomycètes **(Rocio, et al., 2020)**.

Les *Aspergillus* sont des contaminants très communs, ce genre comprend de 180 à 250 espèces selon les auteurs dont seules *Aspergillus fumigatus*, *A. flavus*, *A. nidulans*, *A. terreus*, et *A. niger* sont considérées comme thermotolérantes. Quand les grains sont récoltés humides, insuffisamment séchés ou lorsqu'elles prennent de l'humidité pendant le stockage, les *Aspergillus* peuvent évoluer rapidement et se transformer en des saprophytes, en parasites et entrainer une baisse importante de la faculté germinative sur les semences **(Belmehdi, et al., 2019)**.

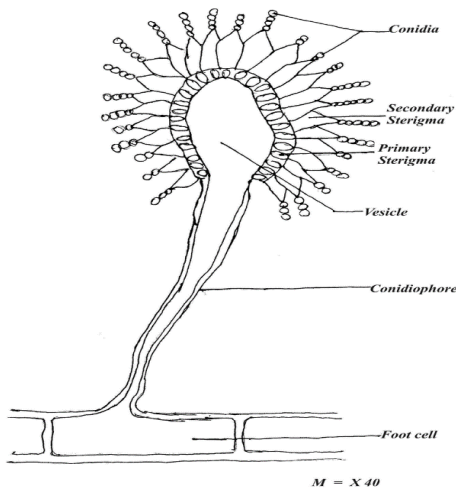


Figure 11: diagramme microscopique d'Aspergillus-flavus (Ogunleye, et al., 2015).

3,5,2,2 Le genre Penicillium

De tous les champignons, c'est probablement le genre *Penicillium* qui est le plus ubiquitaire. Il comporte plus de 200 espèces qui se rencontrent partout de l'équateur aux pôles. Ce genre se caractérise par l'aspect du conidiophore qui est divisé en articles rappelant ainsi la forme d'un pinceau.

A la récolte, les graines peuvent ne présenter aucun symptôme et se dégrader pendant la conservation. Comme dans le cas des *Aspergillus*, les spores asexuées ou bien les conidies ou conidiospores sont produites par bourgeonnement **(Cuz, et al., 2016)**.

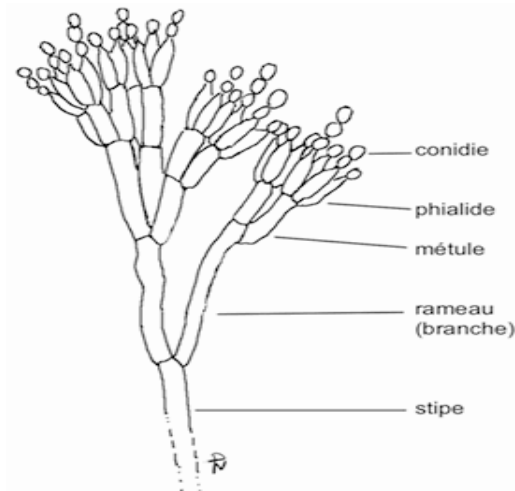


Figure 12 : image descriptive de *Penicillium-terverticille* (Ogunleye, et al., 2015).

3,5,2,3 Le genre *Fusarium*

Le nom *Fusarium* vient de « *fusus* » qui signifie fuseau d'après la forme de ces macroconidies fusiforme et cloisonnées. Ce sont des champignons cosmopolites, on distingue près de 40 espèces largement répandues dans la nature et vivants en saprophytes.

Certains sont des phytopathogènes et beaucoup produisent des mycotoxines contaminant les denrées alimentaires et provoquant alors des maladies graves chez les herbivores (mycotoxicoses) (Sophie, 2015).

Ils réduisent le rendement et la qualité des céréales et compromettent la valeur boulangère du blé, elles ont besoin d'une humidité élevée pour croître (Jiménez-Díaz, et al., 2015).

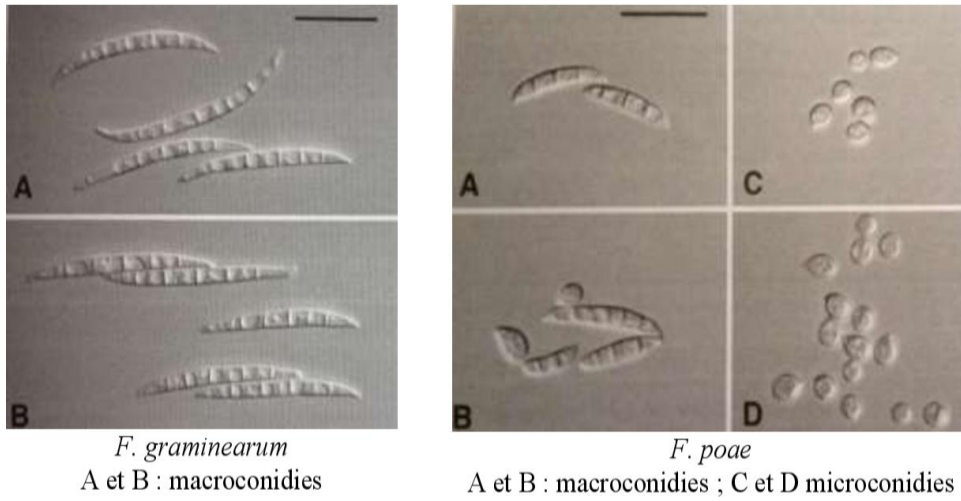


Figure 13 : Les caractères morphologiques primaires de deux espèces de *Fusarium* (Sophie, 2015).

*Chapitre 4 -
Modification
biochimique du blé par
la fermentation*

4,1 La fermentation des céréales

La fermentation des aliments est l'un des processus biotechnologiques les plus anciens qui jouent un rôle important dans l'enrichissement et l'amélioration des aliments. Différents types d'aliments fermentés ont été préparés et consommés pendant des milliers d'années et ces aliments sont meilleurs que les aliments cuits normaux en termes de nutrition et de digestibilité.

Parmi les fermentations alimentaires (par exemple le lait, la viande, le poisson, le soja ou le vin) la fermentation des céréales atteint le volume le plus élevé. Elles proviennent essentiellement de maïs, de sorgho, de mil, de riz ou de blé **(Kumari, et al., 2015)**.

Ces aliments, sont soumis à l'action des microorganismes et/ou des enzymes pour donner des changements biochimiques désirables et des modifications significatives de la qualité des aliments.

En termes de texture, les céréales fermentées sont soit des liquides (bouillies) ou solides ; Les bouillies de céréales fermentées sont l'ogi et le mawé qui sont préparées à partir du maïs, du mil ou du sorgho. Les céréales fermentées solides sont le kenkey et le banku. Des bactéries lactiques, des levures et des moisissures ont été identifiées comme les principaux micro-organismes se développant au cours de la fermentation **(Marco, et al., 2017)**.

Les bactéries lactiques du genre : *Lactobacillus*, *Streptococcus* et *Pediococcus* sont des bactéries courantes associées aux fermentations céréalières. Les souches natives de *Saccharomyces cerevisiae* sont la principale levure de la plupart des fermentations de pain, mais d'autres levures non *Saccharomyces* sont également significatives dans de nombreuses fermentations de céréales incluant *Candida*, *Debaryomyces*, *Hansenula*, *Pichia*, *Trichosporon*, etc. **(Tamang, et al., 2016)**.

Les champignons filamenteux dans les aliments fermentés à base de céréales sont relativement limités et ne semblent pas avoir un rôle important dans le processus de fermentation. Ils sont surtout présents dans les aliments et les boissons fermentés asiatiques traditionnels. Les espèces rapportées appartiennent aux genres *Aspergillus*, *Mucor* et *Rhizopus* (Verbeke, et al., 2015).

La composition et la diversité du microbiote des céréales fermentées dépendent principalement de l'environnement (végétaux, animaux et ustensiles de fabrication, entres autres) et de l'adaptation des microorganismes aux conditions de fermentation (Substrats, températures, pH, activité de l'eau) (Dahl, et al., 2017).

4,2 Impacte de la fermentation sur les caractéristiques biochimiques du blé

Plusieurs changements biochimiques sont observés au niveau du blé pendant le stockage ; pouvant abaisser ou modifier la qualité nutritionnelle des grains en affectant les macromolécules (les glucides, les protéines, les lipides) et voir même les vitamines.

4,3 Action sur les principales substances

4,3,1 Dégradation des glucides

Le grain de blé est composé d'environ 60-70 % de glucides qui comprennent à la fois des saccharides fonctionnels et des saccharides de stockage, la plupart sous forme de polysaccharides (amidon, cellulose) qui sont non directement assimilables par les microorganismes et nécessitent l'intervention d'enzymes extracellulaires (amylases et cellulases) (Pitet, 2018).

La dégradation de la cellulose est assez rare et se limite à quelques moisissures et bactéries. L'amidon est hydrolysé par l'action d'amylases présentes dans les grains et l'amylase fongique et quelques bactéries et levures, cette dégradation fait intervenir des types d'enzymes selon l'espèce : L'alpha-amylase a une action endomoléculaire

conduisant à la formation de maltose et d'une petite quantité de maltodextrine (Bacillus, nombreuses moisissures, quelques levures) ; gluco-amylase qui libère des unités glucose à partir des extrémités non réductrices des polymères (moisissures, levures et des bactéries) et la β -amylase qui a une action de type exomoléculaire donnant du maltose et des dextrines (Bacillus, levures et bactéries). Le glucose ainsi formé est utilisé par les champignons comme source d'énergie ou pour la production du sucre ribose utilisé pour la synthèse d'acide nucléique **(Merabti, 2015)**.

4,3,2 Dégradation des protéines

Les protéines sont des composés organiques de haut poids moléculaire, constituées d'acides aminés liés entre eux par des liaisons peptidiques **(Haichour, 2017)**.

Les levures et bactéries fermentatives utilisent leurs activités enzymatiques en plus des enzymes endogènes disponibles pour induire plusieurs changements dans les matières premières céréalières fermentées. Le changement dans la fermentation induit par le pH peut catalyser l'action de certaines enzymes comme les protéases céréalières dégradant la prolamine endogène et améliorer l'hydrolyse des gliadines, gluténines, glutamines, globulines **(Kermiche, 2016)**.

Les diverses activités protéolytiques par fermentation hydrolysent les protéines pour produire des acides aminés libres, qui agissent comme précurseurs de saveur, tandis que la fermentation bactérienne augmente les teneurs en acides aminés libres, les levures consomment des acides aminés libres pour leur propre métabolisme **(Amourche, 2016)**. Les espèces protéolytiques les plus connues sont les Bacillus, les Proteus, les Streptomyces, etc. **(Tahir, 2017)**.

4,3,3 Dégradation des lipides

Les lipides des grains et notamment les triglycérides se révèlent particulièrement sensibles à la dégradation par les microorganismes. Les triglycérides sont hydrolysés en

Synthèse bibliographique

acides gras et glycérol, grâce à des lipases ou à des estérases moins spécifiques, souvent exocellulaires ; Ces lipases se rencontrent chez les moisissures (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Geotrichum*...), les levures (*Candida*, *Torulopsis*, *Saccharomyces*, *Saccharomycopsis*...) et les bactéries (*Serratia*, *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Chromobacterium*, *Alcaligenes*, *Staphylococcus*...) (**Haichour, 2017**).

Les acides gras sont dégradés chez les microorganismes aérobies et aéroanaérobies (*Pseudomonas*, Entérobactéries, levures, moisissures...) par la β -oxydation. L'évolution de l'acidité grasse est une des manifestations les plus sensibles des modifications biochimiques que subissent le blé au cours du stockage (**Kermiche, 2016**)

Chapitre 5 -
La qualité
nutritionnelle du blé
normal et du blé
fermenté

Le blé est l'une des céréales les plus consommées au monde. Le grain du blé est considéré comme une source majeure d'énergie car il possède de nombreux nutriments, anti-oxydants, des fibres, vitamines et minéraux qui sont principalement présents dans les couches périphériques, notamment dans la couche à aleurone, et dans l'embryon. Cependant, le blé est très controversé car il contient une protéine appelée gluten, qui peut déclencher une réponse immunitaire néfaste chez les personnes prédisposées. **(LeGouis, et al., 2018)**.

Tableau 03 : Valeurs nutritionnelles et caloriques du blé : Pour 100 g de blé dur précuit, grains entiers, cuit, non salé (Conan, 2021).

Nutriments	Teneur moyennes
Energie	149 kcal
Eau	61.9 g
Protéines	5.54g
Glucides	27.4g
Lipides	0.9g
Amidon	25
Fibres alimentaires	3.8g
Calcium	21mg
Chlorure	< 20mg
Cuivre	0.17mg
Fer	0.78mg
Iode	< 20µg

Synthèse bibliographique

Magnésium	28mg
Manganèse	0 8mg
Phosphore	96mg
Potassium	99mg
Sélénium	< 20µg
Sodium	< 5mg
Zinc	0 71mg
Bêta-Carotène	< 5µg
Vitamine D	0µg
Vitamine E	0 08mg
Vitamine C	0 5mg
Vitamine B1 ou Thiamine	0 061mg
Vitamine B2 ou Riboflavine	0 01
Vitamine B3 ou PP ou Niacine	0 26mg
Vitamine B5 ou Acide pantothénique	0 29mg
Vitamine B6	0 052mg
Vitamine B9 ou Folates totaux	10 2µg
Vitamines B12	0µg

5,1 Qualité microbiologique du blé normal

Le grain de blé contient un taux élevé en charge microbienne entre 10^3 et 10^6 cfu/g constitué principalement des *Pseudomonas*, entérobactéries, bactéries lactiques et les levures ; cette population peut augmenter le niveau pendant la germination du grain pouvant atteindre 10^8 à 10^{11} cfu/ (Peles, et al., 2021) g.

5,2 Qualité microbiologique du blé dur fermenté “Hamoum”

La fermentation est un processus naturel ou spontané mettant en évidence le monde microbien. L’homme a appris à l’utiliser empiriquement pour de nombreux biens, à savoir la production et la conservation de ses aliments. Elle ajoute de nouvelles fonctionnalités, organoleptiques, nutritionnelles, et thérapeutiques aux aliments. Elle permet ainsi à l’homme à la fois de prévoir les disettes et d’avoir une alimentation saine (Moustapha, et al., 2019).

Les aliments fermentés traditionnels représentent environ un tiers de la nourriture dans le monde. En Algérie, le blé fermenté traditionnel appelé « Hamoum », est une denrée alimentaire ancestrale consommé sous forme de couscous. Ce blé est obtenu après une fermentation naturelle dans un grenier souterrain appelé Matmora (Benakriche, et al., 2016).

Le “Hamoum” a une microflore riche, levures, bactéries lactique, entérobactéries, et bactéries sporulantes (Les *Bacillus*). Dont, Les bactéries lactiques et les levures sont identifiées comme la principale microflore ferment du Hamoum. (Kalbaza, et al., 2018) et (Benakriche, et al., 2016) ; Parmi laquelle, des familles microbiennes diverses ont été observées, nommément Enterobacteriaceae, Staphylococcaceae/Micrococcaceae, Streptococcaceae/Enterococcaceae, Lactobacillaceae, Actinomycetaceae, Clostridiaceae, Bacillaceae et Saccharomycetaceae (Moustapha, et al., 2019). Les *Bacillus* ont des caractéristiques technologiques, activité protéolytique et caractères probiotiques

(résistance à l'environnement gastrique, production de substances antimicrobiennes) (Haldar, et al., 2017).

5,3 Les effets nutritionnels du blé normal sur le tractus gastro-intestinal chez les mammifères

Le blé est un aliment riche en fibres alimentaires dont Les fibres insolubles représentent 75% du contenu en fibres alimentaires du germe, et plus de 90% dans le cas du son ; Ces fibres contribuent dans l'amélioration du transit intestinal par l'action des polyostérols que le blé contient contre le cholestérol (Conan, 2021).

Le blé est aussi une puissante source d'antioxydants naturels, indiqués pour lutter contre le vieillissement et les effets néfastes des radicaux libres ; et ses riches nutriments sont bénéfiques en cas de déminéralisation osseuse, d'anémie et de rachitisme (Cardenas, 2017).

Cependant, le blé contient les protéines du gluten qui peuvent provoquer certains symptômes chez les gens atteints de la maladie cœliaque. Également connue sous le nom d'intolérance (ou entéropathie) au gluten (Conan, 2021).

Selon (Mosoni, 2015), les fibres contenues dans le blé n'ont pas que l'effet sur la régulation du taux de cholestérol mais aussi peuvent :

- Réduire la prévalence et la durée de diarrhées infectieuses ou associées à la prise d'antibiotique,
- Réduire les symptômes associés aux maladies inflammatoires du tube digestif,
- Exercer un effet protecteur contre le cancer colorectal,
- Diminuer le risque de maladies cardiovasculaires,
- Promouvoir la satiété et la perte de poids et ainsi prévenir l'obésité,
- Favoriser la biodisponibilité des minéraux (calcium, Magnésium, fer) et

- Réduire les allergies.

5,4 Les effets nutritionnels du blé fermenté sur le microbiote colique

Le microbiote intestinal désigne les organismes (bactéries, virus, ou eucaryotes) présents dans l'intestin. Il exerce une profonde influence sur les processus immunologiques, nutritionnels, physiologiques, et de protection jouant un rôle sur la santé, et est considéré par certains comme un nouvel organe du corps humain (**Szajewska, 2019**). Chez l'homme, ce sont en moyenne 500 à 1000 espèces de bactéries qui composent le microbiote intestinal soit près de 10^{14} bactéries appelées bactéries commensales indispensables à l'organisme (**En-Naizi, 2020**).

La colonisation bactérienne a lieu directement après la naissance grâce aux contacts directs avec le microbiote maternel ; Ensuite, ce microbiote subit diverses modifications durant les premiers mois de vie. L'allaitement maternel permet la colonisation par les bactéries symbiotiques : le Bifidobactérium et le Lactobacillus. Le microbiote se stabilise vers l'âge de 3 ans (**Jandhyala, et al., 2015**).

Le blé fermenté traditionnel "*Hamoum*" renferme des microorganismes ayant des vertus nutritionnelles et diététiques très appréciés dans le rétablissement du microbiote intestinale dans les situations de malnutrition protéique sévère (**Yssaad, et al., 2019**).

Le germe de blé fermenté contribue à la prévention du cancer de colon et autant d'autres types en inhibant la croissance de cellules de la leucémie par induction de leur apoptose en activant la caspase-3 qui catalyse le clivage de l'enzyme PARP (une enzyme surexprimée dans les cellules cancérogènes pour protéger l'ADN des erreurs liées à leur réplication rapide). Ainsi, les cellules cancéreuses sont davantage sensibles aux chimiothérapies dont le but est de cibler la destruction de l'ADN. Il améliore l'efficacité des traitements conventionnels (**Cascio, 2015**).

5,5 Impact des prébiotiques sur le microbiote intestinal de l'enfant

Les prébiotiques sont des composants alimentaires naturels indigestes (oligosaccharides) censés améliorer la santé en influençant favorablement la flore intestinale par la stimulation de certaines bactéries à activité probiotique (**Addou, et al., 2015**).

Les prébiotiques stimulent de manière sélective, au niveau du côlon, la multiplication ou l'activité d'un ou d'un nombre limité de groupes bactériens susceptibles d'améliorer la physiologie de l'hôte. Les groupes bactériens concernés sont les bactéries lactiques et essentiellement les bifidobactéries (**Addou, et al., 2015**).

Dans la population pédiatrique, certains prébiotiques ont le potentiel de :

- ramollir les selles, ce qui pourrait être bénéfique chez certains nourrissons et a été documenté de façon constante avec l'administration de préparations pour nourrissons supplémentées en prébiotiques (principalement avec un mélange de galacto-oligosaccharides à chaîne courte et de fructo-oligosaccharides à chaîne longue) (**Skórka, et al., 2018**).
- réduire les taux d'infections gastro-intestinales ou respiratoires (documenté dans certaines études seulement) (**Szajewska, 2019**).
- diminuer les allergies (la World Allergy Organization recommande l'utilisation de prébiotiques chez les nourrissons qui ne sont pas nourris exclusivement au sein ; cependant, aucune recommandation spécifique n'a été donnée quant au choix des prébiotiques) (**Cuello-Garcia, et al., 2016**).

5,6 Impact des probiotiques sur le microbiote intestinal de l'enfant

Les probiotiques sont des "microorganismes vivants qui, lorsqu'ils sont administrés en quantités adéquates, confèrent un bénéfice pour la santé de l'hôte" (**Hill, et al., 2015**).

Tableau 04 : Effets des probiotiques chez l'enfant (Szajewska, 2016).

Pathologie/traitement	Exemples de probiotiques dont l'efficacité a été démontrée.
Traitement de la gastroentérite aiguë.	ESPGHAN, WGO LGG* ; S. boulardii (recommandation forte). L. reuteri DSM 17938 (recommandation faible).
Prévention de la diarrhée associée aux antibiotiques.	ESPGHAN LGG ; S. boulardii (recommandation forte).
Prévention de la diarrhée nosocomiale	ESPGHAN LGG (recommandation forte)
Prévention des infections des voies respiratoires	LGG
Prévention de l'eczéma	La WAO suggère l'utilisation des probiotiques chez certaines populations à haut-risque ; cependant, il n'y a pas d'indication claire concernant la/les souche(s) à utiliser (recommandation conditionnelle).
Développement de la tolérance chez les nourrissons présentant une allergie aux protéines du lait de vache.	LGG
Prévention de l'entérocolite nécrosante	Aucune indication claire concernant la/les souche(s) à utiliser.
Infection à H. pylori	ESPGHAN : non recommandé
Coliques infantiles (prise en charge)	L. reuteri, DSM 17938 (bien documenté chez les nourrissons allaités au sein).
Coliques infantiles (prévention)	L. reuteri, DSM 17938
Douleur abdominale fonctionnelle	LGG
Maintien de la rémission dans la colite ulcéreuse	E. coli Nissle 1917 ; VSL#3
Induction d'une rémission dans la maladie de Crohn	ECCO/ESPGHAN : non recommandé
Constipation fonctionnelle	ESPGHAN/NASPGHAN : non recommandé

5,7 Impact des postbiotiques sur le microbiote intestinal de l'enfant

Le terme "postbiotique" a été introduit pour décrire un produit contenant des micro-organismes morts et leurs métabolites : facteurs solubles (produits ou sous-produits métaboliques) secrétés par les bactéries vivantes, ou libérés après lyse bactérienne, tels qu'enzymes, peptides, acides téichoïques, mucopeptides dérivés du peptidoglycane, polysaccharides, protéines localisées à la surface cellulaire et acides organiques (Yvan, 2019).

Il est reconnu que le développement du microbiote gastro-intestinal est un élément important en faveur de la santé des nourrissons. Le déséquilibre du microbiote intestinal, appelé dysbiose, a un rôle étiologique dans le développement des troubles fonctionnels gastro-intestinaux (TFI), tels que les coliques et altérations de la composition des selles.

Des essais contrôlés randomisés ont rapporté l'efficacité des probiotiques dans la prise en charge des TFI. Différents probiotiques, prébiotiques, symbiotiques et postbiotiques ont permis de prévenir et de prendre en charge efficacement la constipation, les coliques et la régurgitation chez le nourrisson (Yvan, 2020).

Certains bénéfices potentiels pourraient être attribués aux postbiotiques, mais davantage de preuves sont encore requises car une meilleure compréhension de l'impact de différents métabolites produits par des bactéries spécifiques n'est pas encore bien élucidée (Yvan, 2019).

Conclusion

Ce travail est inscrit dans le cadre d'une contribution à une meilleure connaissance de blé et de découvrir certains constituants chimiques en vue d'étudier leurs activités biologiques caractéristiques dans ce blé fermenté ensuite démontrer l'effet de la fermentation naturelle sur la qualité microbiologique, biochimique et nutritionnelle du blé fermenté traditionnellement après le stockage dans le silo souterrain traditionnel (Matmora). Nous avons contribué à sa valorisation en établissant une relation entre sa composition chimique, physique, microbiologique, et ses activités biologiques.

Au cours de stockage au niveaux de Matmora, les grains de blé peuvent subir des modifications d'origine chimique, enzymatique ou biologique. Pour faciliter la compréhension de phénomènes qui se déroulent au blé stocké dans les Matmora et l'influence du temps de stockage sur certains paramètres, une étude des analyses physico-chimiques et microbiologiques les plus poussées avec des techniques plus performantes a été menée pour compléter ce travail. D'après cela, nous avons vu que le temps de stockage est présence de certaines conditions favorables comme (la température et humidité) seraient le plus qualifiés pour donner un nouveau type de blé qui est le blé fermenté.

Pour cette étude, il est important de signaler que le blé a subi des modifications des certaines de ses caractéristiques physico-chimiques, et technologiques au cours du stockage dans le Matmora, affectant essentiellement quelques propriétés des protéines en modifiant les propriétés organoleptiques (odeur, saveur et couleur) du produit, l'acidité du blé et la cellulose. Parmi les constituants biochimiques, les lipides sont les plus affectés, que l'on attribue à leur hydrolyse par l'action des lipases, l'apparition des certains composés intermédiaires résultant de l'oxydation des acides gras libres qui vont augmenter à leur tour l'acidité surtout dans le cas où l'humidité est élevée.

Conclusion

Toutes ces modifications du blé par la fermentation, lui ont donné un bon pourcentage en probiotiques et prébiotiques qui, à leur tour ont un impact majeur dans le rétablissement du microbiote intestinal des mammifères principalement chez l'enfant.

Nous concluons en rappelant que les opérations fermentaires permettent d'améliorer la valeur nutritionnelle ; en effet la fermentation naturelle de blé dur par les levures et les bactéries lactiques dans le Matmora assure une augmentation de la valeur nutritionnelle et une amélioration de la digestibilité et de la qualité microbienne

*Références
bibliographiques*

Abecassis Joël la filière du blé tendre et du blé dur [Revue] // trasfoon. - 2015. - pp. 4-9.

Abis Sébastien Le blé au coeur des enjeux géographiques mondiaux. [Revue] // cairn. info. (HERODOTE). - 2015. - 156. - pp. 125-137.

Addou S. [et al.] Effet des prébiotiques sur la flore intestinale des rats Wistar [Revue] // Revue française d'allergologie. - Oran : [s.n.], 2015. - Vol. 3. - pp. 237-240.

Amourche Altération des aliments [Revue] // Genie Alimentaire. - 2016. - pp. 1-7.

Aoues Karima, Boutoumi Hocine et Benrima Atika État phytosanitaire du blé dur locale stocké en Algérie [Revue] // Revue Agrobiologia. - 2017. - pp. 286-296.

Befikadu Dubale Factors Affecting Quality of Grain Stored in Ethiopian Traditional Storage Structures and Opportunities for Improvement. [Revue] // International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR). - 2019. - Vol. 18. - pp. 235-257.

Belmehdi Sara et Beddar Ghania Étude des moisissures productrices des mycotoxines isolée à partir des grains de blé dur. [Revue] // D-space. - 2019. - pp. 3-5.

Benakriche Ben Mehel, Benabdelmoumene Djilali et Mortet Ahmed Lactic Acid Bacteria Diversity in the Fermented Wheat Hamoum in West Algeria [Revue] // Pakistan Journal of Nutrition. - 2016. - 15 : Vol. 7. - pp. 639-648. - ISSN 1680-5194.

Berkache Faten et Zaimen Nadia Effet de la fermentation sur la qualité physicochimique, microbiologique et nutritionnelle du blé fermenté traditionnellement. [Revue] // D-space. - 2018. - pp. 3-17.

Bettahar Fehd Conception et prototypage d'un système complet pour la surveillance du grain dans les silos de stockage. [Revue] // Electronique. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II. - 2016. - pp. 12-17.

Références bibliographiques

Cardenas Dr. Jesus Blé [Revue]. - 2017.

Cascio Sandra Germe de blé fermenté [Ouvrage]. - Paris : [s.n.], 2015.

Christiane Denys « En direct des espèces » : qui est vraiment le rat brun, ce petit mammifère citadin ? [Revue] // the conversation. - 2017.

Conan Catherine Le blé, un incontournable de notre alimentation [Revue] // Passeport santé. - 2021. - pp. 2-5.

Cuello-Garcia CA [et al.] University Guidelines for Allergic Disease Prevention (GLAD-P): Prebiotics. [Revue] // world Allergy Organ. - 2016. - Vol. 1. - p. 9:10.

Cuz Jean-François [et al.] Agriculture en poche: conservation des grains après récolte [Ouvrage]. - Paris : : CTA, Presses agronomiques de Gembloux, 2016.

Dahl W. J. [et al.] Health benefits of fiber fermentation [Revue] // Journal of the American College of Nutrition. - 2017. - 36 : Vol. 2. - pp. 127-136.

Decrouy Antoine Quelle est la différence entre autotrophe et hétérotrophe - Exemples et définition [Revue] // Planet animal. - 2018. - p. 1.

Dereuder Amélie Texturants : les caractéristiques des sources d'amidons. [Revue]. - 2015.

Dhillon Bhavnita, Choudhary Garima et Sodhi Navdeep Singh A study on physicochemical, antioxidant and microbial properties of germinated wheat flour and its utilization in breads. [Revue] // Journal foods science and technologie. - 2020. - pp. 1-9.

Doré Joël Qu'est-ce qu'un probiotique et un prébiotique ? [Interview]. - 15 Avril 2016.

Doukani Koula [et al.] Caractérisation physico-chimique du blé fermenté par Stockage Souterrain (Matmora). [Revue] // Revue Ecologie-Environnement. - 2015. - Vol. 9. - pp. 1-9.

Références bibliographiques

Encyclopaedia The Editors of Wheat. Encyclopedia Britannica [Revue] // Britannica. - 2021.

En-Naizi Amal Le ciblage de l'Escherichia coli adhérent-invasif par les bactériophages constitue-t-il un traitement potentiel de la maladie de Crohn ? [Revue] // DIAL : digital access to libraries. - Louvain : [s.n.], 2020. - pp. 3-17.

Foudili Douaa et Gasmi Asma Stress de la sécheresse chez quatre variétés du blé dur (Triticum durum Desf.) : Un examen sur quelques caractéristiques morphologiques et sur les pigments. [Revue] // D-space. - M'SILA : [s.n.], 2017. - pp. 3-18.

Gregová Edita [et al.] CHARACTERIZATION OF DURUM WHEAT (TRITICUM DURUM DESF.) QUALITY FROM GLIADIN AND GLUTENIN PROTEIN COMPOSITION. [Revue] // Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences . - 2021. - pp. 610-615.

Habbi Oumelkhair et Khelfaoui Houda Etude de l'activité antifongique des extraits aqueux « froid » et « chaud » de noix de muscade « Myristica fragrans » sur quelques moisissures contaminant le blé dur stocké. [Revue] // D-space. - 2018. - pp. 6-7.

Haichour Nora BIOCHIMIE MICROBIENNE [Ouvrage]. - setif : [s.n.], 2017. - Vol. 1.

Haldar L., Ghandi D.N. et Mazumdar D. Functional properties of spore-forming Bacillus strains: Pre-requisite for probiotic functions. [Revue] // Int J Curr Microbiol App Sci.. - 2017. - 6 : Vol. 2. - pp. 162-169.

Hatice Pekmez Cereal Storage Techniques: A Review [Revue] // Journal of Agricultural Science and Technology B. - 2016. - Vol. 6. - pp. 67-71.

Heinze Karsta From Grain to Granule: The Biomechanics of Wheat Grain Fractionation with a Focus on the Role of Starch Granules. [Revue] // ResearchGate. - 2017. - pp. 27-31.

Références bibliographiques

Hill C [et al.] The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. [Revue] // Nat Rev Gastroenterol Hepatol. - 2015. - 11 : Vol. 8. - pp. 506–14.

histoire de pates [En ligne] // blé tendre et blé dur. - 2015. - <https://histoiredepates.net/2013/07/05/ble-tendre-ble-dur/>.

Jack Lyons 9 Maladies Transmissibles Véhiculées par les Rongeurs. [Revue] // StopNuisibles. - 2016. - pp. 1-7.

Jandhyala S M [et al.] Role of the normal gut microbiota [Revue] // World J Gastroenterol. - 2015. - 29 : Vol. 21. - pp. 8787-8803.

Jiménez-Díaz Rafael M [et al.] Fusarium wilt of chickpeas: Biology, economy and management [Revue] // Crop protection. - 2015. - pp. 4-6.

Kalbaza K., Zadi-karam H. et E. N, Karam Identification and major technological characteristics of Lactococcus and Lactobacillus strains isolated from "hamoum", an Algerian fermented wheat. [Revue] // African Journal of Biotechnology. - 2018. - 17 : Vol. 5. - pp. 108-117.

Kalbaza K., Zadi-Karam H. et Karam N.E. Identification and major technological characteristics of Lactococcus and Lactobacillus strains isolated from "Hamoum", an Algerian fermented wheat. [Revue] // Afr J Biotechnol. - 2018. - 17 : Vol. 5. - pp. 108-117.

Karahacane Tahar Activité insecticide des extraits des quelques plantes cultivées et spontanées sur les insectes du blé en poste récolte. [Revue] // D-space. - 2015. - pp. 3-7.

Kermiche Meryem Caractérisation de certaines souches microbiennes évoluant dans le blé fermenté et mise en évidence de leurs activités enzymatiques. [Revue]. - CONSTANTINE : [s.n.], 2016.

Références bibliographiques

Kheroua O., Mokhtari S. et Saidi D. Isolation and Identification of Lactic Acid Bacteria from Algerian Durum Wheat (*Triticum Durum*) Natural Fermented in Underground Silos Matmora “El-Hammoum” and their Antimicrobial Activity Against Pathogenic Germs. [Revue] // Journal of Nutrition and Health Sciences. - 2016. - 4 : Vol. 3. - p. 403. - ISSN: 2393-9060.

König Claire Les rongeurs, terreur des silos à grains : rat noir et surmulot [Revue] // Futura planète. - 2016. - pp. 11-13.

Korti Abdelhamid et Kheddoum Abdennour Impact des insectes ravageurs de stocks de blés dur sur la qualité marchande au niveau de la CCLS de Tlemcen. [Revue] // D-space. - Tlemcen : [s.n.], 2018. - pp. 3-8.

Kumari S., Guleria P. et Dangi N. Cereal Based Beverages and Fermented Food : A [Revue] // Review. International Journal of Enhanced Research in Science, Technology and Engineering. - 2015. - Vol. 4. - pp. 2319-7463.

Laskowski W. [et al.] How Important are Cereals and Cereal Products in the Average Polish Diet?. [Revue] // Nutrients. - 2019. - 11 : Vol. 3. - p. 679.

LeGouis Jacques et Gerard Branlard Les recherches pour améliorer le rendement, la qualité et la valeur santé du blé dans le cadre des évolutions environnementales et sociétales. [Revue] // L’agriculture entre plaine et montagne; d’hier à aujourd’hui, . - Auvergne : [s.n.], 2018. - pp. , 627-628.

Mahmood I. [et al.] Effects of Pesticides on Environment [Revue] // Hakeem K., Akhtar M., Abdullah S. (eds) Plant, Soil and Microbes. Springer, Cham. - 2016. - pp. 1-17.

Marco M. L. [et al.] Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond. [Revue] // Current opinion in biotechnology. - 2017. - Vol. 44. - pp. 94-102.

Références bibliographiques

Mattioni Bruna EFFECT OF WHEAT PROCESSING AND GENOTYPE ON THE GLUTEN PROTEINS . [Revue] // UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. - 2017. - pp. 36-48.

Mazhoud Houda, Chemak Fraj et Chenoune Roza Analyse typologique et performance productive de la culture du blé dur irrigué en Tunisie. [Revue] // Cahier agriculture. - 2020. - 24 : Vol. 29. - pp. 1-10.

Meghazi Nassima Activité antifongique de quelques huiles essentielles sur les moisissures du blé stocké. [Revue] // D-space. - 2015. - pp. 14-22.

Merabti Ryma Blé dur fermenté lemzeiet : étude du nouveau procédé de fermentation à l'extérieur du matmor et caractérisation de l'écosystème (interactions du microbiote avec la matrice). [Revue]. - 2015.

Mosoni Pascal Dégradation des fibres alimentaires par le microbiote colique de l'Homme. [Revue] // Innovations Agronomiques. - Paris : [s.n.], 2015. - 36. - pp. 83-96.

Moustapha Soungalo Drabo [et al.] Qualité microbiologique du blé dur fermenté de Matmor Hamoum : Indispositions digestives, microflore avantageusement technologique et potentiels pathogènes. [Revue]. - 2019. - 27 : Vol. 2028-9324. - pp. 11-18.

Navarro S. et Navarro H. Emerging Global Technological Challenges in the Reduction of Postharvest Grain Losses [Revue] // Proceedings of the 15th International Cereal and Bread Congress.. - 2016. - p. 39.

Nour Asma et Louhichi Brinis Effect of storage on the vigor and viability of two varieties of durum wheat (*Triticum durum*, Desf) [Revue] // Rev. Sci. Technol., Synthèse 32. - 2016. - pp. 22-29.

Ogunleye Akin et Olaiya Grace ISOLATION, IDENTIFICATION AND MYCOTOXIN PRODUCTION OF SOME MYCOFLORA OF DRIED STOCKFISH (*GADUS MORHUA*) [Revue] // Academic Journal of Science. - 2015. - Vol. 4. - pp. 345-364.

Références bibliographiques

Peles Ferenc [et al.] MICROBIOLOGICAL QUALITY OF ORGANIC WHEAT GRAINS AND SPROUTS [Revue] // Analele Universității din Oradea, Seria Relații Internaționale și Studii Europene.. - 2021. - Vol. XVIII. - pp. 53-60.

Pitet Laurence Le blé, ses vertus nutritionnelles et ses nombreuses utilisations [Revue] // Actu Nutrition. - 27 Octobre 2018.

Prasadi V. P. Nirmla et Joye Iris J. Dietary Fibre from Whole Grains and Their Benefits on Metabolic Health. [Revue] // Nutrients. - 2020. - pp. 1-20.

Qu'est-ce que la gliadine ? [En ligne] // BECAUSE GUS. - 2018. - <https://because-gus.com/quest-ce-que-la-gliadine/>.

Rani K. [et al.] Distribution of Enzymes in Wheat Flour Mill Streams [Revue] // Journal of Cereal Science - J CEREAL SCI. - 2021. - Vol. 34. - pp. 233-242.

Rocio Gracia-Rubio [et al.] The fungal cell: Candida, Cryptococcus, and Aspergillus species [Revue] // Frontiers in microbiology. - 2020. - pp. 6-9.

Rofia Ansel et Asmaa Boukedjouta Etude de la qualité microbiologique, nutritionnelle et sensorielle du pain produit à partir du mélange de farine de blé tendre et du blé dur fermenté par la méthode traditionnelle [Revue] // D-space. - 2018. - pp. 6-9.

Roux Patrice Moisson, battage, vannage, stockage des céréales aux périodes protohistorique et antique dans le monde égéen : Histoire des techniques. [Revue] // Université Paris I - Panthéon Sorbonne . - Paris : [s.n.], 2015. - 2 : Vol. 2. - pp. 50-60.

Samad S. Omar [et al.] Evaluation of protein enriched co-products originating from wheat fermentation in diets of common carp *Cyprinus carpio* to examine effects on growth response, mineral retention, haematological status and intestinal integrity. [Revue] // Aquaculture Nutrition. - 2021. - pp. 3-9.

Références bibliographiques

Sanaa Lanouari [et al.] Caractérisation physico-chimique des graines de blé tendre (*Triticum aestivum*) sous traitement herbicide par l'acide 2 4-dichlorophénoxyacétique [Physico-chemical characterization of the seeds of bread wheat (*Triticum aestivum*) under herbicide treatment] [Revue] // International Journal of Innovation and Applied Studies; Rabat. - 2015. - 2 : Vol. 10. - pp. 604-620.

Skórka A [et al.] Infant formulae supplemented with prebiotics: are they better than unsupplemented formulae? [Revue] // An updated systematic review. Br J Nutr. - 2018. - 119 : Vol. 7. - pp. 810–25.

Sophie Heit Identification de *Fusarium* et détection des mycotoxines associées par MALDI-TOF [Revue] // HAL. - 2015. - pp. 11-13. - hal-01731674.

St-Pierre N., Bélanger V. et Brégard. A. Ventilation et conservation des grains à la ferme [Revue] // Réseau Innovagrains et Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). - Québec : [s.n.], 2015. - p. 58.

Sudon Juliette Comment choisir sa solution pour le stockage en vrac ? [Revue] // locabri. - 2019. - pp. 1-2.

Szajewska Hania Pro-, Pré-, et Symbiotiques : Mythes et Réalités [Revue] // Nestlé Nutrition Institute. - 2019. - 44. - pp. 2-12.

Szajewska Hania What are the indications for using probiotics in children? [Revue] // Arch Dis Child. - 2016. - 101 : Vol. 4. - pp. 398–403.

Tahir Nacira Caractérisation des activités protéolytiques et autolytiques de souches de *Lactococcus lactis* ssp.cremoris pour l'élaboration d'un ferment à haute aptitude technologique. [Revue]. - Québec, Canada : [s.n.], 2017. - pp. 16-17.

Références bibliographiques

Tamang J. P., K. Watanabe et Holzapfel W. H. Diversity of Microorganisms in Global Fermented Foods and Beverages. [Revue] // Frontier in microbiologie. - 2016. - Vol. 7. - p. 28.

Toure A. [et al.] Présence de métaux lourds et de résidus médicamenteux dans les effluents des établissements de santé de Dakar (Sénégal) [Revue] // International Journal of Biological and Chemical Sciences. - 2016. - Vol. 10. - pp. 1-11.

Uthayakumaran Surjani et Wrigley Colin Wheat: Grain-Quality Characteristics and Management of Quality Requirements. [Revue] // Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition / éd. Wrigley Colin, Batey Ian et Miskelly Diane. - 2017. - pp. 91-134. - ISBN 9780081007198 .

Velimirovic Ana, Jovovic Zoran et PRŽULJ Novo FROM NEOLITHIC TO LATE MODERN PERIOD: BRIEF HISTORY OF WHEAT. [Revue] // Original scientific article. - 2021. - 1 : Vol. 53. - pp. 407-417.

Verbeke K. A. [et al.] Towards microbial fermentation metabolites as markers for health benefits of prebiotics [Revue] // Nutrition research reviews. - 2015. - 1 : Vol. 28. - pp. 42-66..

Wioletta Biel, Katarzyna Kazimierska et Ulyana Bashutska NUTRITIONAL VALUE OF WHEAT, TRITICALE, BARLEY AND OAT GRAINS [Revue] // Acta Sci. Pol. Zootechnica. - 2020. - 19 : Vol. 2. - pp. 19-28.

Yang Wenzhu et Li Yanling Use of Wheat Distiller Grains in Ruminant Diets, Wheat Improvement, Management and Utilization. [Revue] // Owuoche, IntechOpen. - 2017. - pp. 1-16.

Yssaad D [et al.] Évaluation de la flore bactérienne intestinale chez le rat wistar malnutris : impact de la réalimentation par un blé fermenté type Hamoum. [Revue] // Nutrition clinique et métabolisme. - 2019. - Vol. 33. - pp. 4-114.

Références bibliographiques

Yuka M. [et al.] Origin of wheat B-genome chromosomes inferred from RNA sequencing analysis of leaf transcripts from section Sitopsis species of Aegilops. [Revue] // DNA Res.. - 2019. - 2 : Vol. 26. - pp. 171-182.

Yvan Vandenplas Les probiotiques doivent-ils nécessairement être "vivants" ? [Revue] // Nestlé Nutrition Institute. - Bruxelles : [s.n.], 2019. - 44. - pp. 2-11. - ISSN 1270-9743.

Yvan Vandenplas Troubles fonctionnels gastro-intestinaux chez le nourrisson : pertinence dans la pratique quotidienne [Revue] // Nestlé Nutrition Institute. - Bruxelles : [s.n.], 2020. - 46.

Zeddig Houda et Benlaribi Mostefa Branching (tillering) in the plant of the (cereals) such as bread wheat (*Triticum eastivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.). [Revue] // Journal of Agricultural, Environmental and Veterinary Sciences.. - 2017. - 4 : Vol. 1. - pp. 1-9.